

Marie STARÁ¹

VÝPOČET POŽÁRNÍ ODOLNOSTI TLAČENÉHO OCELOBETONOVÉHO SLOUPU

CALCULATING FIRE RESISTANCE PUSHED COMPISITE COLUMN

Abstrakt

Předmětem tohoto příspěvku je výpočet únosnosti oboustranně vetknutého ocelobetonového sloupu, který je zatížen teplotou. Sloup je rozdělen na stejně velké úseky po výšce, které mají rozdílnou tuhost. Tuhost daného úseku je ovlivněna teplotou působící na sloup. Stanovení únosnosti je provedeno na centricky tlačném sloupu z kruhové trubky vyplněné betonem.

Klíčová slova

Teplota, sloup, tuhost sloupu, požár.

Abstract

The subject of this paper is to calculate the load on both side fixed concrete filled hollow column. The column is temperature load. Column will be divided into equally large sections that have different stiffness. The stiffness of the stretch is affected by temperature acting on the column. Determination of the load is done centrally pushed to the mast of a circular tube filled with concrete.

Keywords

Temperature, column, stiffness of the rod, fire.

1 ÚVOD

Ocelobetonové konstrukce, někdy nazývané také kompozitní konstrukce, jsou tvořeny ocelovými a betonovými částmi spojenými do jednoho celku. Toto konstrukční spojení dvou materiálů je staticky i konstrukčně výhodné a přináší i ekonomické zisky. Výhody této kompozitní konstrukce se také výrazně projeví při požáru. Tenké ocelové prvky se rychle prohřívají a v důsledku toho postupně ztrácejí únosnost. Zatímco betonové části zůstávají chladnější, zajišťují únosnost konstrukce, a také navíc chrání ocel před přenosem tepla a tím zpomalují její pevnostní degradaci.

U nechráněných dutých ocelových sloupů vyplněných betonem se pro stanovení únosnosti vychází z materiálových vlastností ovlivněných teplotou, jelikož dochází k nestacionárnímu vedení tepla průřezem. Pro rozložení teplot po průřezu tyčových prvků konstantního průřezu není třeba uvažovat prostorovou soustavu při modelování, ale lze zjednodušeně řešit rovinu příčného řezu.

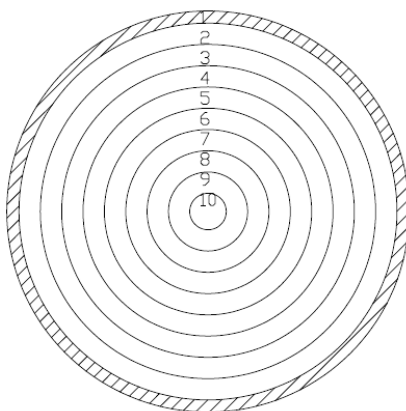
2 VSTUPNÍ HODNOTY

Obecně jsou výpočty požární odolnosti založeny ve většině případů na tom, že se předepsaným způsobem stanoví teplota v konstrukci. V jejích jednotlivých částech a pro tuto sníženou teplotu se určí materiálové charakteristiky oceli a betonu a posléze se určí celková únosnost sloupu [3].

¹ Ing. Marie Stará, Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Poděště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 596 991 375, e-mail: marie.stara@vsb.cz.

Stanovení únosnosti je provedeno na centricky tlačném sloupu z kruhové trubky průměru 330 mm a tloušťky stěny 10 mm z oceli S355 vyplněné betonem C30/37. Délka sloupu je 3,5 m, která je rozdělena po výšce na 10 úseků s rozdílnou teplotou. Teplota je vypočítána SW (Ansys 12.0) [6], který využívá metodu konečných prvků. Prut může tepelně podélně dilatovat.

Příčný řez všech úseků je rozdělen na 10 vrstev, z nich jedna vrstva je ocelová a zbylé vrstvy tvoří beton, viz obr. 1. V jednotlivých vrstvách se při normovém požáru dle ISO 834 předpokládá konstantní teplota.



Obr. 1: Příčný řez sloupu, rozdělení vrstev vč. jejich označení

3 POSTUP VÝPOČTU ODOLNOSTI SLOUPU PŘI ZVÝŠENÉ TEPLITĚ

Návrhová vzpěrná únosnost se stanoví ze vztahu $N_{fi,Rd} = N_{fi,cr} = N_{fi,pl,Rd}$, kde $N_{fi,cr}$ je pružná kritická neboli Eulerova síla při požáru a $N_{fi,pl,Rd}$ je návrhová hodnota plastické únosnosti v tlaku celého průřezu při požáru.

$$N_{fi,cr} = \frac{\pi^2 (E_{a,\theta,\sigma} I_a + E_{c,\theta,\sigma} I_c + E_{s,\theta,\sigma} I_s)}{l_\theta^2} \quad (1)$$

$$N_{fi,pl,Rd} = \frac{A_a \sigma_{a,\theta}}{\gamma_{M,fi,a}} + \frac{A_s \sigma_{s,\theta}}{\gamma_{M,fi,s}} + \frac{A_c \sigma_{c,\theta}}{\gamma_{M,fi,c}} \quad (2)$$

Při výpočtu se zpravidla postupuje tak, že se poměrné protažení zvětšuje po krocích, pro které se vypočítají hodnoty $N_{fi,cr}$ a $N_{fi,pl,Rd}$. Rozhodující pro výpočet těchto hodnot je tangentový modul pro i -tý materiál při teplotě $E_{i,\theta,\sigma}$ a napětí $\sigma_{i,\theta}$ v i -tém materiálu průřezu při teplotě, protože obě hodnoty jsou funkcí poměrného přetvoření. Při zvětšování poměrného přetvoření roste $N_{fi,pl,Rd}$ a zmenšuje se $N_{fi,cr}$. Hodnoty $N_{fi,cr}$ a $N_{fi,pl,Rd}$ se zpřesňují tak dlouho, dokud neplatí vztah $N_{fi,Rd} = N_{fi,cr} = N_{fi,pl,Rd}$ [4]. Tento vztah potom udává hodnotu únosnosti prvku při požáru. Pro každý úsek platí, že poměrné protažení úseku je rovno poměrného protažení i -tého materiálu průřezu:

$$\varepsilon = \varepsilon_a = \varepsilon_s = \varepsilon_c \quad (3)$$

Když budeme předpokládat, že úseky mají rozdílnou teplotu, pak samozřejmě nelze uvažovat, že se všechny úseky prodlouží o stejnou délku, jelikož poměrné prodloužení je na teplotě závislé. S tím je třeba při výpočtu uvažovat.

Jak už bylo výše uvedeno, tak prut je rozdělen na 10 úseků, kde délku úseků budeme uvažovat konstantní, tzn. délka jednoho úseku je 350 mm. Čísla úseků a jejich teploty jsou uvedeny v tab. 1, kde první dva úseky mají stejnou teplotu. Úseky jsou číslovány od paty sloupu, kde teplota je nejvyšší.

Tab. 1: Teplota jednotlivých úseků

Číslo úseku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Teplota úseku [°C]	860	860	841	767	713	640	584	543	514	495

Při výpočtu se postupuje tak, že se na začátku určí plochy a momenty setrvačnosti všech vrstev. Dále se vypočítají hraniční hodnoty poměrného přetvoření, modulu pružnosti všech vrstev a napětí v oceli a betonu. Vztahy pro výpočet mechanických vlastností ovlivněných teplotou jsou použity dle [5].

V následující tabulce jsou uvedeny hodnoty pro první úsek při poměrném počátečním přetvoření $\varepsilon = 0,00088$. Následující úseky jsou provedeny obdobně.

Tab. 2: Hodnoty mechanických vlastností pro číslo úseku 1 při teplotě 860°C

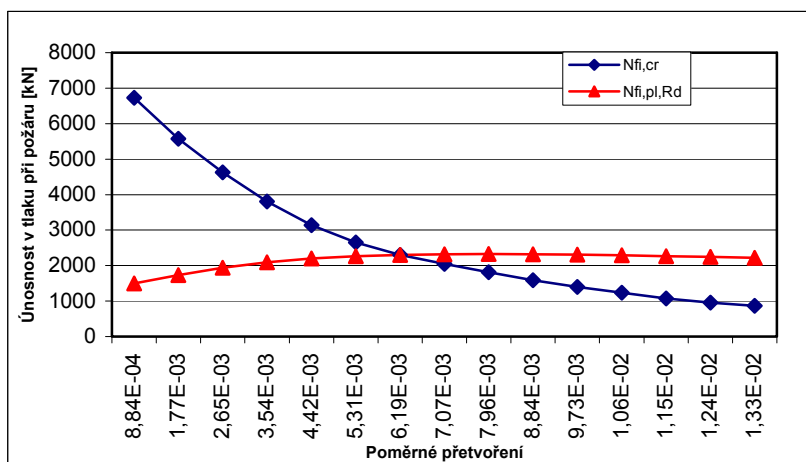
Vrstva	Teplota [°C]	Plocha průřezu A_i [mm ²]	Moment setrvačnosti I_i [mm ⁴]	Napětí $\sigma_{i,\theta}$ [N/mm ²]	Modul pružnosti $E_{i,\theta,\sigma}$ [N/mm ²]
ocel (1. vrstva)	860	10053	129	14	16065
beton (2. vrstva)	856	16081	173	$17 \cdot 10^{-2}$	193
beton (3. vrstva)	652	14157	118	$58 \cdot 10^{-2}$	652
beton (4. vrstva)	475	12233	76	$189 \cdot 10^{-2}$	2134
beton (5. vrstva)	343	10308	46	$435 \cdot 10^{-2}$	4905
beton (6. vrstva)	245	8384	25	$561 \cdot 10^{-2}$	6313
beton (7. vrstva)	173	6460	11	$724 \cdot 10^{-2}$	8129
beton (8. vrstva)	125	4536	4	$862 \cdot 10^{-2}$	9630
beton (9. vrstva)	98	2611	$8 \cdot 10^{-1}$	$956 \cdot 10^{-2}$	10642
beton (10. vrstva)	90	707	$4 \cdot 10^{-2}$	$993 \cdot 10^{-2}$	11028

Tento postup je nutné provést pro všechny úseky s postupně se zvětšujícím se poměrným přetvořením v závislosti na teplotě.

Celkové určení hodnoty $N_{fi,pl,Rd}$ jednotlivých úseků je provedeno podle vztahu:

$$N_{fi,pl,Rd} = \sum_{i=1}^n \frac{A_i \sigma_{i,\theta}}{\gamma_{M,fi,i}} \cdot \frac{l_i}{l} \quad (4)$$

Výpočet kritické síly na oboustranně vetknutém sloupu byl proveden za pomoci počítačového programu, pomocí něhož byl vytvořen SW (Microsoft Excel) v jazyce Visual Basic [7], který pracuje na principu numerické metody. Hlavní proměnné vstupní veličiny, tj. počet úseků s různou tuhostí, délka jednotlivých úseků, ohybová tuhost jednotlivých úseků, počáteční síla apod. se zadávají nezávisle na sobě. Pro výpočet kritické síly byla použita silová metoda, která spočívá v určení stupně statické neurčitosti, stanovení deformačních podmínek, kanonické rovnice (přetvárné), obecné vyjádření deformací pomocí integrálů, které jsou ohraničeny horní a dolní mezí [1], [2].



Obr. 2: Průběh výsledných hodnot $N_{fi,cr}$ a $N_{fi,pl,Rd}$ pro jednotlivá přetvoření prvního úseku

4 ZÁVĚR

Předmětem tohoto příspěvku byl výpočet únosnosti oboustranně vetknutého ocelobetonového sloupu zatíženého teplotou.

Jak je patrné z obr. 2, tak celková maximální únosnost sloupu v tlaku o délce 3,5m je v místě, kde se protne křivka $N_{fi,cr}$ a $N_{fi,pl,Rd}$, tj. v hodnotě 2300 kN.

Tento způsob výpočtu lze použít i pro složitější případy zatížení teplotou. Například tehdy, kdy teplota bude rozdělena do úseků o různých délkách a nikoliv délkách konstantních. A rovněž v případech, kdy bude sloup zatížen teplotou o různé intenzitě, nezávisle na jejím působení (v hlavě či patě sloupu, případně středních částech sloupu).

LITERATURA

- [1] KADLČÁK, Jaroslav; KYTÝR, Jiří. *a Statika stavebních konstrukcí II*. Místo vydání Brno: Vydavatelství VUTIUM. Rok vydání 2001. Počet stran 431. ISBN 80-214-1648-3.
- [2] ŠMÍŘÁK, Svatopluk. *Pružnost a plasticita I*. Místo vydání Brno: Vydavatelství CERM. Rok vydání 1999. Počet stran 210. ISBN 80-214-1151-1.
- [3] WALD, František a kolektiv. *K výpočtu požární odolnosti nosných konstrukcí*. Místo vydání Praha: Vydavatelství ČVUT v Praze. Rok vydání 2008. Počet stran 102. ISBN 978-80-01-03943-4.
- [4] WALD, František a kolektiv. *Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí*. Místo vydání Praha: Vydavatelství ČVUT v Praze. Rok vydání 2000. Počet stran 336. ISBN 80-0103157-8.
- [5] ČSN EN 1994-1-2 Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí – Část 1-2:Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru. Praha: Vydavatelství ČNI. 2006. 95 s.
- [6] ANSYS 12.0, www.ansys.com.
- [7] Microsoft Office Excel 2003, www.microsoft.com.

Oponentní posudek vypracoval:

Prof. Ing. František Wald, CSc., ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí, Thákurova 7, 166 29 Praha.

Doc. Ing. Marcela Karmazinová, CSc., Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí, Veveří 95, 602 00 Brno.